



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

## ČERPADLO PRO DOPRAVU KAPALIN Z VELKÝCH HLOUBEK

THE PUMP FOR THE TRANSPORT OF FLUIDS FROM GREAT DEPTHS

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Dobrovolný

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. František Pochylý, CSc.

BRNO 2016



## Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav  
Student: **Martin Dobrovolný**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **prof. Ing. František Pochylý, CSc.**  
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### Čerpadlo pro dopravu kapalin z velkých hloubek

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Jedná se o speciální čerpadla do úzkých vrtů. Hloubka čerpání až tisíce metrů.

Bakalářská práce bude zaměřena na literární a patentovou rešerši.

Předpokládá se, že vybraná varianta, nebo vlastní nápad budou podrobněji rozpracovány v bakalářské práci.

Téma je vysoce aktuální, neboť v celosvětovém měřítku ubývá povrchové pitné vody.

#### **Cíle bakalářské práce:**

1. Literární rešerše vícestupňových čerpadel
2. Literární rešerše vertikálních čerpadel
3. Charakteristika čerpadel do hlubokých studní
4. Principy čerpání kapalin z hlubokých studní
5. Charakteristika problémů čerpání kapalin z velkých hloubek.

#### **Seznam literatury:**

Pochylý, F., Zdařil, S.: Vybrané statě z čerpadel. Brno, 1990

Strýček, O.: Čerpadla. Skriptum, SVŠT Bratislava

Katalogy čerpadel Sigma

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **Abstrakt**

V bakalářské práci jsou obsaženy základní informace o rozdělení čerpadel. Rozdělení je zde uvedeno podle normy ČSN 11 0000 a podle měrných otáček čerpadla. Jsou zde popsány konstrukce konvenčních vertikálních hydrodynamických čerpadel a možnosti jejich použití. U čerpadel používaných do vrtů jsou zhodnoceny jejich výhody a nedostatky. V poslední kapitole je popsána konstrukce nového hybridního čerpacího systému, jeho výhody oproti čerpadlům stávajícím a možnosti dalšího využití čerpadla.

## **Abstract**

In this Bachelor's thesis are included the basic information about dividing pumps. The division of the pumps is carried out according to standard ČSN 11 0000 and according to the specific speed of the pumps. There is a description of conventional designs of vertical hydrodynamic pumps and their use. The advantages and disadvantages of pumps used in boreholes are evaluated. The last chapter describes the construction of new hybrid pumping system. Also its advantages over existing pumps are described as well as its potential future use.

## **Klíčová slova**

Rozdělení čerpadel, hydrodynamická čerpadla, čerpadla do vrtů, hybridní čerpací systém.

## **Keywords**

Division of pumps, hydrodynamic pumps, water well pumps, hybrid pumping system.



### **Bibliografická citace**

DOBROVOLNÝ, M. *Čerpadlo pro dopravu kapalin z velkých hloubek*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 42 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. František Pochylý, CSc.





### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci Čerpadlo pro dopravu kapalin z velikých hloubek vypracoval samostatně pod vedením svého vedoucího práce prof. Ing. Františka Pochylého, CSc. s použitím podkladů uvedených v seznamu použitých zdrojů.

Martin Dobrovolný



## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Františku Pochylému, CSc. za odborné vedení, rady, připomínky a za svůj čas, který mi věnoval. Také bych rád poděkoval svým rodičům za podporu, kterou mně během vysokoškolského studia poskytovali.



# Obsah

1	Úvod.....	14
2	Historický vývoj čerpadel .....	15
3	Základní kritéria hydrodynamické podobnosti hydraulických strojů .....	16
3.1	Základní parametry čerpadel .....	16
3.2	Kritéria hydrodynamické podobnosti .....	16
3.3	Součinitel hydrodynamické podobnosti čerpadel – měrné otáčky .....	17
3.3.1	Měrné otáčky hydrodynamického čerpadla .....	17
4	Rozdělení čerpadel .....	20
4.1	Rozdělení čerpadel na základě měrných otáček oběžných kol.....	20
4.2	Rozdělení dle ČSN 11 0000 .....	21
4.2.1	Rozdělení čerpadel podle hydraulického principu činnosti .....	21
4.2.2	Rozdělení čerpadel podle charakteristických konstrukčních znaků.....	23
5	Konvenční konstrukce vertikálních hydrodynamických vícestupňových čerpadel .....	25
5.1	Vertikální spirálové čerpadlo.....	25
5.2	Vertikální článkové čerpadlo.....	27
5.3	Vertikální čerpadlo s axiálním rozvaděčem .....	29
5.4	Vertikální čerpadlo s axiálním rozvaděčem a natáčecími lopatkami .....	31
5.5	Vertikální čerpadla do vrtů .....	31
5.5.1	Čerpadla s hřídelovým vedením.....	31
5.5.2	Ponorná čerpadla .....	32
6	Čerpadla jiných principů používaných do vrtů .....	35
6.1	Mamutové čerpadlo .....	35
6.2	Vodní ejektory .....	35
7	Konstrukce hybridního čerpacího systému .....	37
8	Závěr.....	39
9	Seznam použitých zdrojů .....	40
10	Seznam použitých symbolů a zkratek .....	42

# 1 Úvod

Problematika čerpání kapalin z velikých hloubek v dnešní době nabývá na významu, protože dochází k úbytku povrchové pitné vody. Cílem této práce je řešení konvenčních konstrukcí vertikálních víceetapových čerpadel. Popsat princip nového hybridního čerpacího systému. Zhodnotit výhody a nevýhody těchto konstrukcí. Nastínit možnosti použití hybridního čerpacího systému.

## 2 Historický vývoj čerpadel

Otázku dopravy vody řeší lidstvo již od nepaměti. Přibližně 2000 let před Kristem Egypťané využívají mechanismus v arabštině nazývaný „shadoof“ (viz obrázek 2-1). Jedná se o pákový mechanismus, z části připomínající miskové váhy. Mechanismus se skládal z nádoby na vodu, která byla prostřednictvím provazu připevněna k dřevěné tyči. Tyč procházela okem v rámu a na jejím druhém konci bylo umístěno protizávaží. Celý mechanismus byl obsluhován lidmi, kteří nabírali vodu ze zdroje a dopravovali ji do přilehlé nádrže. Kaskádovitým umístěním nádrží bylo možné dopravit vodu do potřebné výšky. [1, 2].

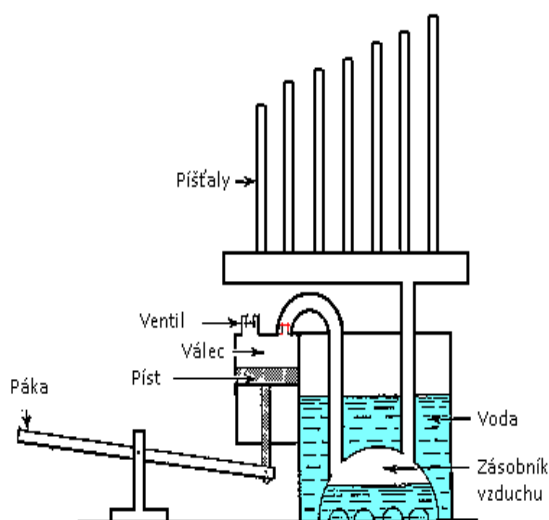
Asi 200 let před Kristem řecký matematik Ctesibius vynalezl vodní varhany (viz obrázek 2-2), u kterých poprvé použil princip pístového čerpadla (kompresoru). Účelem mechanismu bylo zásobování píšťal varhan vzduchem. Čerpadlo (kompresor) bylo tvořené válcem s ventily, ve kterém se pohyboval píst. Sladěním pohybu pístu s otevíráním a zavíráním ventilů docházelo k čerpání vzduchu do zásobníku, ze kterého byly píšťaly zásobovány vzduchem [1, 3].

Ve stejném období se objevuje druhý princip čerpadla, který nalezne využití i dnes, a to Archimédův šroub. Z dnešního pohledu se jedná o diagonálně uložený šnekový mechanismus. Používá se především k čerpání kalů ve vodních čistírnách nebo k dopravě granulátů a směsí [1, 4, 5].

Nové principy čerpání vody se začínají objevovat v 15. – 16. století. Vznikají návrhy na první zubová a lamelová čerpadla. Dochází k rozvoji pístových čerpadel. V roce 1687 francouzský vynálezce Denis Papin přichází s prvním odstředivým čerpadlem s rovnými lopatkami. Skutečný vzestup čerpadel přichází až s průmyslovou revolucí. Příčinou je nahrazení lidské, animální, popřípadě jiné přírodní síly, kterými byla dosud čerpadla hnána, pohonem parního stroje. Na konci 19. století byly parní stroje nahrazeny prvními asynchronními motory, které se pro pohon čerpadel používají dodnes [1, 4].



Obrázek 2-1 Shadoof [2]



Obrázek 2-2 Vodní varhany [3]

## 3 Základní kritéria hydrodynamické podobnosti hydraulických strojů

Kritéria hydrodynamické podobnosti hydraulických strojů umožňují modelovat velké hydraulické stroje ve zmenšeném měřítku. Díky tomu je možné, do určité míry, porovnávat experimentální výsledky získané na modelu s výsledky teoretickými, které vznikly při návrhu skutečného hydraulického stroje. Kritéria hydrodynamické podobnosti slouží také jako prostředek třídění různých typů hydraulických strojů.

V kapitole 3 byly použity zdroje [7, 8, 9].

### 3.1 Základní parametry čerpadel

Základní parametry čerpadel vychází ze základních zákonů hydromechaniky. Prvním parametrem je měrná energie  $Y$ , která vychází z Bernoulliho rovnice (rovnice 3.1) pro ideální kapalinu. Druhým parametrem je průtok  $Q$ , který vychází z rovnice kontinuity (rovnice 3.2).

$$\frac{v^2}{2} + \frac{p}{\rho} + g \cdot Z = kon \quad (3.1)$$

$$S \cdot v = kon \quad (3.2)$$

Měrná energie má jednotku  $[m^2/s^2]$  a určuje kvalitu hydraulické přeměny v pracovním stroji (vysokotlaké x nízkotlaké čerpadlo). Kvantitativním (velikostním) parametrem pro hodnocení čerpadel je průtok  $Q$  s jednotkou  $[m^3/s]$ . K těmto dvěma parametrům se přidává třetí, a to frekvence otáčení oběžného kola  $n$   $[ot/s]$  popřípadě  $[ot/min]$ , který vyjadřuje rychloběžnost čerpadla.

### 3.2 Kritéria hydrodynamické podobnosti

Kritéria hydrodynamické podobnosti jsou bezrozměrná čísla odvozené z Navier Stokesovy rovnice pro nestlačitelnou kapalinu.

#### Froudeho číslo

Udává poměr setrvačných sil a sil tíže.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot Z}} \quad (3.3)$$

#### Eulerovo číslo

Udává poměr tlakových a setrvačných sil.

$$Eu = \frac{p}{\rho \cdot v^2} \quad (3.4)$$



### Weberovo číslo

Udává poměr setrvačných sil k povrchovému napětí.

$$We = \frac{\rho \cdot v^2 \cdot z}{\sigma} \quad (3.5)$$

### Reynoldsovo číslo

Udává poměr sil setrvačných a sil vzniklých vlivem vazkosti kapaliny

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (3.6)$$

### Strouhalovo číslo

Udává poměr konvektivních a lokálních setrvačných sil tj. sil časově neustálených nebo periodicky se opakujících.

$$Sh = \frac{v \cdot t}{z} \quad (3.7)$$

## 3.3 Součinitel hydrodynamické podobnosti čerpadel – měrné otáčky

Hydrodynamicky podobná čerpadla mají i hydrodynamicky podobná kritériální čísla  $Fr$ ,  $Sh$ ,  $Re$ ,  $Eu$ . Vždy však není možné zajistit identitu u všech zkoumaných kritérií, a proto je třeba vyhodnotit, které z těchto kritérií je pro daný stroj významné. U hydrodynamických čerpadel to jsou kritéria  $Fr$  a  $Sh$ , a to z toho důvodu, že energie hydrodynamického čerpadla závisí na rychlosti.

Reynoldsovo číslo má význam při určování ztrát v čerpadle vlivem vazkosti tekutiny pro stroje s velkými průtoky a rychlostmi.

### 3.3.1 Měrné otáčky hydrodynamického čerpadla

Do Strouhalova čísla (3.7) dosadíme za  $z$  charakteristický rozměr čerpadla, kterým je průměr oběžného kola  $D$ . Za čas  $t$  dosadíme  $1/n$ , kde  $n$  [ot/s] jsou otáčky oběžného kola.

$$Sh = \frac{v}{n \cdot D} = \pi \frac{v}{u} \quad (3.8)$$

Dosazením  $Fr$  čísla (3.3) do vztahu 3.8 dostaneme:

$$Sh = \pi \frac{\sqrt{g \cdot Z} \cdot Fr}{u} \quad (3.9)$$

Kde  $g \cdot Z$  představuje měrnou energii čerpadla  $Y$ .

U geometricky podobných čerpadel souvisí průměr oběžného kola s průtokem takto [7]:

$$Q \sim \frac{\pi \cdot D^2}{4} v \quad (3.10)$$

Ze vztahu 3.3 vyjádříme  $\underline{v}$  a dosadíme do vztahu (3.10).

$$Q \sim \frac{\pi \cdot D^2}{4} Fr \cdot \sqrt{Y} \quad (3.11)$$

Ze vztahu 3.11 vyjádříme  $\underline{D}$ .

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot Fr \cdot \sqrt{Y}}}$$

Ze vztahu 3.9 vyjádříme  $\underline{u}$ .

$$u = \frac{\pi \cdot \sqrt{Y} \cdot Fr}{Sh} = \pi \cdot n \cdot D$$

Z předchozího vztahu vyjádříme  $\underline{n}$  a dostaneme:

$$n = \frac{\sqrt{Y} \cdot Fr}{D \cdot Sh}$$

Nyní za  $\underline{D}$  dosadíme vztah 3.11 a po úpravě dostaneme:

$$n = \frac{\sqrt{\pi} \cdot Y^{\frac{3}{4}} \cdot Fr^{\frac{3}{2}}}{2 \cdot \sqrt{Q} \cdot Sh} \quad [ot/s] \quad (3.12)$$

Jelikož chceme vyjádřit tzv. bezrozměrné otáčky<sup>1)</sup> pro srovnávací hydrodynamické čerpadlo jednotkových parametrů, dosadíme:  $Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$  a  $Y = 1 \text{ m}^2/\text{s}^2$

$$n_b = \frac{\sqrt{\pi} \cdot Fr^{\frac{3}{2}}}{2 \cdot Sh} \quad (3.13)$$

Dosazením vztahu 3.13 do 3.12 dostaneme vyjádření otáček čerpadla jednotkových parametrů pomocí hlavních parametrů  $\underline{Q}$ ,  $\underline{Y}$ , a  $\underline{n}$ .

$$n_b = n \frac{\sqrt{Q}}{Y^{\frac{3}{4}}} \quad (3.14)$$

Tento výraz nazýváme měrné otáčky čerpadla. Pro praktické použití se používají násobky bezrozměrných otáček<sup>2)</sup>, a to:

<sup>1)</sup> Ve skutečnosti se nejedná o bezrozměrné otáčky. Bezrozměrné otáčky to budou po zanedbání rozměrů jednotkových hlavních parametrů  $\underline{Q}=1$  a  $\underline{Y}=1$ .

<sup>2)</sup> Násobky se používají z důvodu malých hodnot bezrozměrných měrných otáček.

**Měrné objemové otáčky:**

$$n_q = 333,3 \cdot n_b \text{ [ot/min]} \quad (3.15)$$

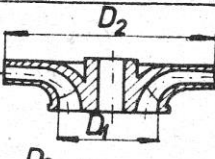
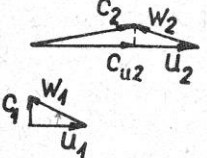
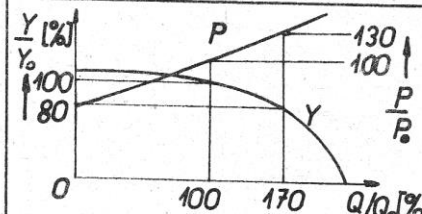
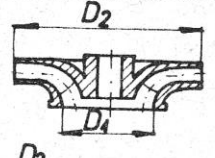
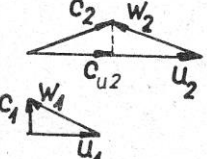
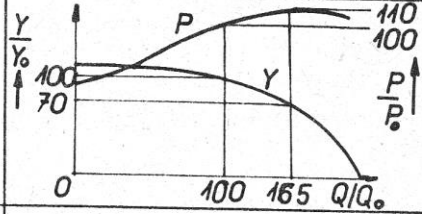
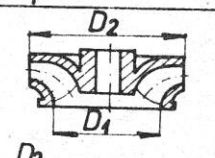
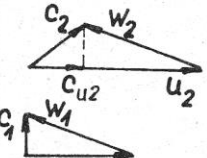
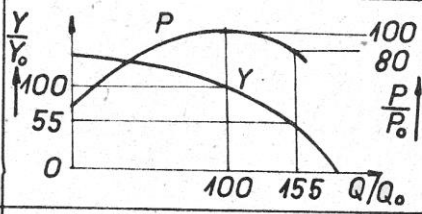
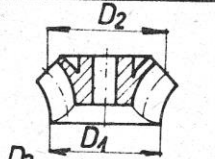
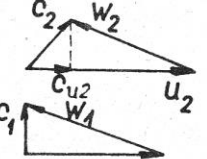
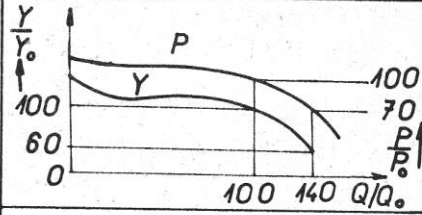
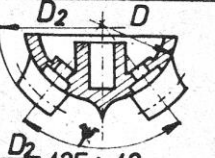
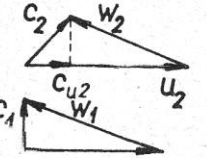
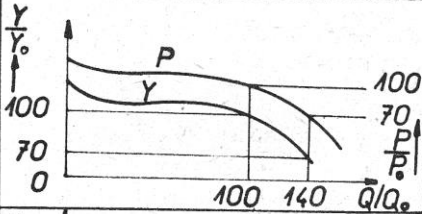
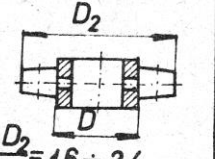
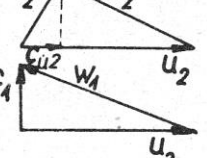
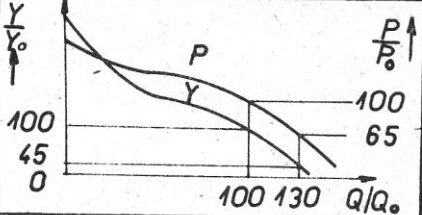
**Měrné otáčky výkonové:**

$$n_s = 1200 \cdot n_b \text{ [ot/min]} \quad (3.16)$$

## 4 Rozdělení čerpadel

Čerpadla je možné dělit podle různých kritérií. Jedna z možností je dělit čerpadla podle měrných otáček a to buď podle měrných objemových otáček, nebo podle měrných výkonových otáček. V České republice upravuje rozdělení čerpadel norma ČSN 11 0000.

### 4.1 Rozdělení hydrodynamických čerpadel podle měrných objemových otáček oběžných kol

$n_q$	typ ob. kola	meridiální řez oběžným kolem	výstupní a vstupní rychlostní trojú- helník	charakteristika čerpadla v poměrných souřadnicích
10 ÷ 30	radiální	 $\frac{D_2}{D_1} = 3,5 \div 2$		
22 ÷ 60	radiální se zbor- cenými lopatkami	 $\frac{D_2}{D_1} = 2 \div 1,5$		
50 ÷ 70	Francisovo	 $\frac{D_2}{D_1} = 1,5 \div 1,3$		
70 ÷ 120	diagonální	 $\frac{D_2}{D_1} = 1,2 \div 1,1$		
60 ÷ 135	diagonální vrtulové	 $\frac{D_2}{D} = 1,25 \div 1,9$ $\gamma = 70^\circ \div 120^\circ$		
110 ÷ 410	axiální vrtulové	 $\frac{D_2}{D} = 1,6 \div 2,4$		

Obrázek 4-1 Rozdělení čerpadel podle měrných objemových otáček oběžných kol [8]

## 4.2 Rozdělení dle ČSN 11 0000

V kapitole 4.2 by použit zdroj [6].

Názvy čerpadel jsou dle hlavních klasifikačních hledisek roztrženy do následujících skupin:

- a) Názvy čerpadel podle hydraulického principu jejich činnosti
- b) Názvy čerpadel podle jiných principů jejich činnosti
- a) Názvy čerpadel podle charakteristických konstrukčních znaků
- b) Názvy čerpadel podle způsobu provozního využití
- c) Názvy čerpadel podle druhu pohonu
- d) Názvy čerpadel podle čerpané kapaliny
- e) Názvy čerpadel podle materiálu hlavních součástí
- f) Názvy čerpadel podle uplatnění v různých uživatelských oborech

### 4.2.1 Rozdělení čerpadel podle hydraulického principu činnosti

#### a) Odstředivá čerpadla

Rotační stroje, u kterých se přírůstku energie čerpané kapaliny dosahuje v točivém oběžném kole. Podle provedení oběžného kola se dělí na: čerpadla s uzavřeným oběžným kolem, čerpadla s polootevřeným oběžným kolem a s otevřeným oběžným kolem

#### b) Radiální čerpadla

Odstředivá čerpadla, u kterých čerpaná kapalina vstupuje do oběžného kola rovnoběžně s osou (axiálně), a vystupuje kolmo na osu rotace oběžného kola (radiálně).

#### c) Diagonální čerpadla

Odstředivá čerpadla, u kterých čerpaná kapalina vstupuje do oběžného kola rovnoběžně s osou otáčení, a vystupuje šikmo k ose otáčení (diagonálně).

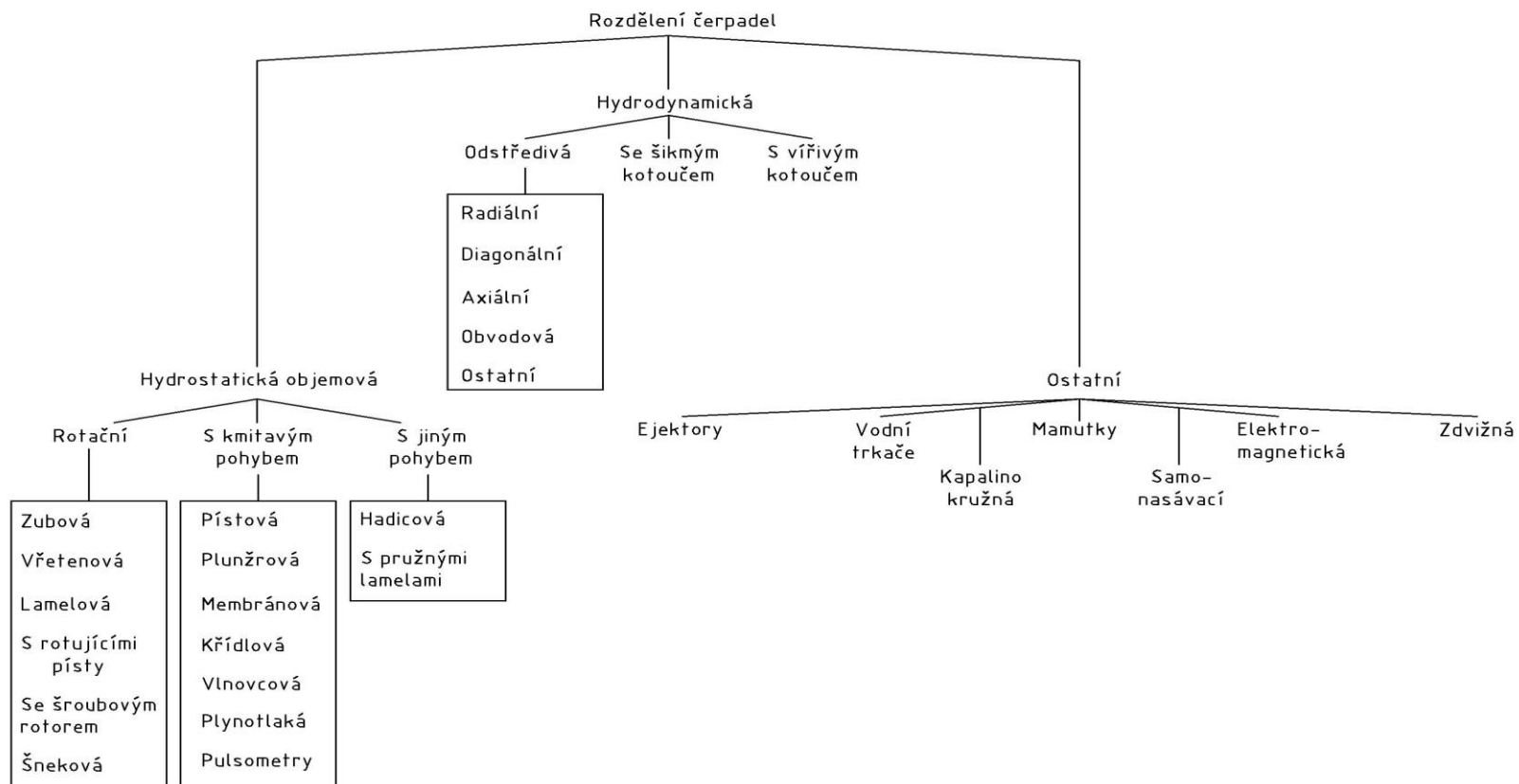
#### d) Axiální čerpadla

Voda vstupuje do oběžného kola a vystupuje z oběžného kola rovnoběžně s osou otáčení (axiálně). Podle druhu lopatkování se dělí na: s nastavitelnými lopatkami, s natáčivými lopatkami za klidu, s natáčivými lopatkami za provozu, s lopatkami pro reverzní provoz.

#### e) Mamutky

Zařízení pro zvýšení energie čerpané kapaliny následkem jejího směšování s tlakovým plynem např. s tlakovým vzduchem.

## Rozdělení čerpadel podle ČSN 11 0000



Obrázek 4-2 Rozdělení čerpadel podle ČSN 11 0000

#### **4.2.2 Rozdělení čerpadel podle charakteristických konstrukčních znaků**

##### **a) Horizontální čerpadla**

Odstředivá nebo rotační objemová čerpadla s vodorovnou osou hřídele. Pístová čerpadla s vodorovnou osou válce.

##### **b) Vertikální čerpadla**

Odstředivá nebo rotační objemová čerpadla se svislou osou hřídele. Pístová čerpadla se svislou osou válce (válců).

##### **c) Jednostupňová čerpadla**

Čerpadla, ve kterých se zvýšení tlaku dosahuje v jednom stupni.

##### **d) Dvoustupňová čerpadla**

Odstředivá čerpadla se dvěma sériově řazenými oběžnými koly.

##### **e) Vícestupňová čerpadla**

Odstředivá čerpadla s několika sériově řazenými oběžnými koly.

##### **f) Čerpadla s jednostranným vstupem**

Čerpadla, ve kterých celkový objemový průtok prochází přes jeden nebo několik sériově řazených čerpacích elementů.

##### **g) Čerpadla s dvoustranným vstupem**

Čerpadla, ve kterých se celkový objemový průtok rozděluje do dvou paralelně řazených čerpacích elementů.

##### **h) Monobloková čerpadla**

Obvykle čerpadla v celku s motory jako jednotná soustrojí mající společný hřídel (někdy také hřídel čerpadla a hřídel motoru s pevným tuhým spojem). Název monobloková má značit, že celé nebo částečné těleso motoru je odlito v jednom kuse s celým nebo částečným tělesem čerpadla nebo jeho podpěrrou.

##### **i) Bezucpávková čerpadla**

Čerpadla bez průsaku ucpávkou. Většinou odstředivá a rotační objemová čerpadla, jejichž hřídel nevystupuje z tělesa čerpadla do atmosféry, takže ucpávka hřídele není nutná.

##### **j) Ponorná čerpadla**

Vertikální čerpadla, která jsou společně se speciálním elektromotorem zcela nebo částečně ponořena v čerpané kapalině.

#### **k) Čerpadla s vnitřními ložisky**

Čerpadla, u kterých je jedno nebo více ložisek hřídele umístěno v prostoru s čerpanou kapalinou.

#### **l) Čerpadla s vnějšími ložisky**

Čerpadla, u kterých jsou ložiska umístěna vně tělesa čerpadla a nejsou ve styku s čerpanou kapalinou.

#### **m) Čerpadla do mokré jímky**

Čerpadla určená svou konstrukcí k instalaci do jímky s volnou hladinou. Provedení ložisek vyžaduje ponoření do čerpané kapaliny.

#### **n) Vícestupňová článková čerpadla**

Odstředivá čerpadla, vícestupňového konstrukčního provedení s vloženými nebo integrálními rozvaděči.<sup>3)</sup>

---

<sup>3)</sup> Rozdělení čerpadel je provedenou pouze v rozsahu této práce. Více norma ČSN 11 0000 [6].



## 5 Konvenční konstrukce vertikálních

### hydrodynamických vícestupňových čerpadel

Vícestupňová čerpadla se zpravidla používají tam, kde je potřeba dosáhnout vysoké výtlačné výšky a velkých průtoků. Čerpadla se vyrábějí jak v horizontálním, tak vertikálním provedení. Princip spočívá v zařazení více oběžných kol (tlakových stupňů) za sebou tak, aby se dosáhlo požadované výtlačné výšky.

#### 5.1 Vertikální spirálové čerpadlo

V kapitole 5.1 byly použity zdroje [7, 9, 10].

Vertikální spirálové čerpadlo (obrázek 5-1) se skládá ze dvou základních částí, radiálního oběžného kola, které pracuje ve spirálovém tělese. Celá konstrukce je umístěna v suché jímce.

Čerpadla se nejčastěji vyrábějí jednostupňová pro dopravní výšky  $H = 40 - 150$  m od  $H = 75$  m vyrábějí ve dvoustupňovém provedení. V specifických případech se vyrábějí i vícestupňová. Průtočné množství vody čerpadlem se pohybuje od 250 l/s do 1000 l/s.

Radiální oběžné kolo je na hřídeli uloženo letmo a zajištěné pomocí pera. Proti axiálnímu posunutí je oběžné kolo zajištěno pojistnou maticí. Hřídel s kolem je uložen ve spirálovém tělese. Oběžné kolo bývá opatřeno odlehčovacími otvory. Těsnění je realizováno pomocí vyměnitelných těsnících kruhů. Voda do čerpadla vstupuje axiálně a je přiváděna sacím kolenem, na které navazuje sací víko čerpadla. Přes lopatky oběžného kola pak pokračuje do výtlačného hrdla a posléze do výtlačného potrubí.

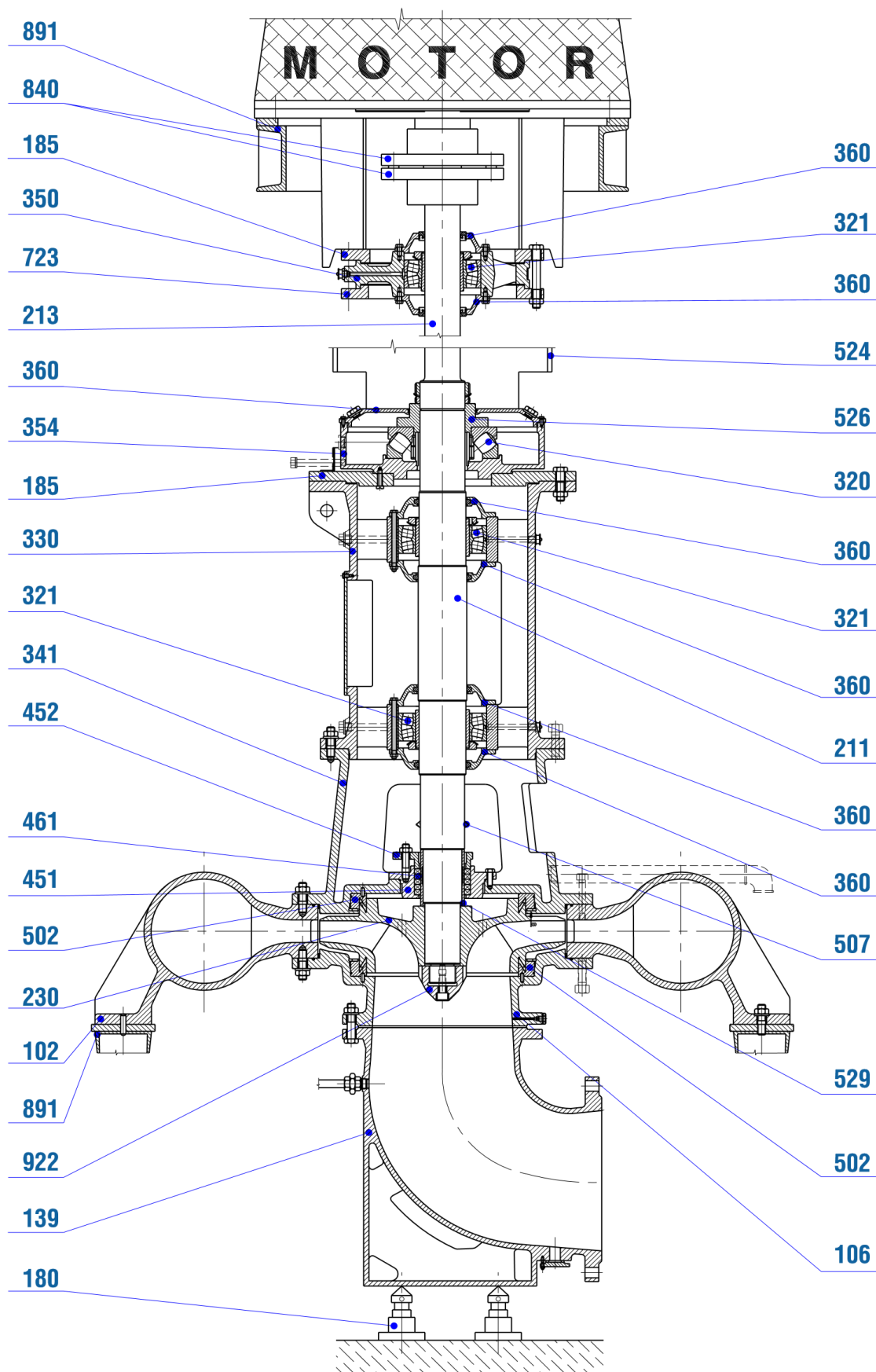
V případě dvojstupňového uspořádání voda vystupující z oběžného kola prvního stupně pokračuje do lopatkového radiálního rozvaděče. Vratné lopatky přivádějí vodu do sacího prostoru druhého stupně.

V ucpávkovém tělese se nachází kluzné vodící radiální ložisko. Ložisko je mazáno, buď čistou vodou z cizího zdroje, nebo čerpanou kapalinou. Vlastní ucpávka hřídele je z provazcového těsnění. Ucpávka je zahlcována čistou vodou.

Dle délky hřídele se volí jeho vhodné uložení. Delší hřídele se skládají z více kusů navzájem spojených pomocí zděrových nebo miskových spojek. Hřídel je pak uložen v kluzných radiálních ložiscích, která jsou mazána olejem. Olejový okruh má vlastní čerpadlo. Dle potřeby je možné chladit olej trubkovým chladičem umístěným v olejové vaně. Menší průměry hřídelů (do 60 mm) bývají uloženy v kuličkových radiálních ložiscích, která jsou mazána mazacím tukem. Skupina kuličkových ložisek tvoří ložiskové těleso, které je sevřeno mezi příruby vodících potrubí. Je-li hřídel krátký, s jedním vodícím ložiskem (vyjma ložiska v hydraulické části), vynechává se vodící potrubí a ložiskové těleso je připojeno na přírubu ucpávkového tělesa.

Ke spojení čerpadla s elektromotorem se používá pevná spojka, která přenesení axiální sílu čerpadla.

Čerpadla této konstrukce se používají v čerpacích stanicích v průmyslových provozech, vodárenských zařízeních. Mohou dopravovat pitnou, mírně znečištěnou i užitkovou vodu. Představitelem této konstrukce je čerpadlo Sigma HVBW.



Obrázek 5-1 Čerpadlo Sigma HVBW [10]

## 5.2 Vertikální článkové čerpadlo

V kapitole 5.2 byly použity zdroje [7, 9, 11, 12].

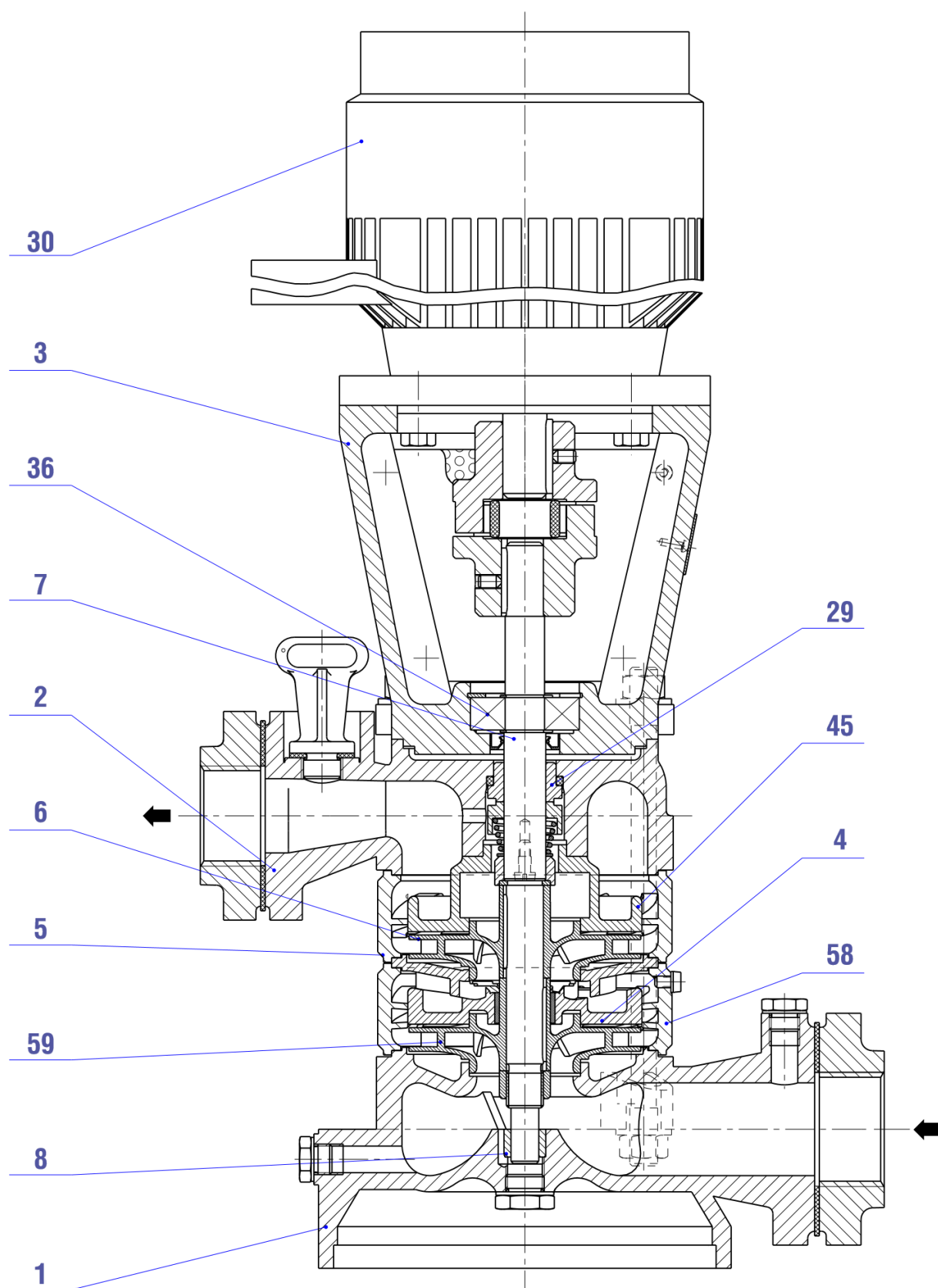
Vertikální článkové čerpadlo (viz obrázek 5-2) se skládá ze sacího a výtlačného tělesa. Mezi těmito částmi jsou umístěny jednotlivé články čerpadla, které jsou se sacím a výtlačným tělesem spojeny šrouby. Články jsou tvořeny radiálními oběžnými koly, rozváděcími koly a převaděči. Oběžná kola jsou vůči tělesům článku utěsněna vyměnitelnými těsníci kruhy. Společně s hřídelem tvoří rotor čerpadla. U malých čerpadel se hřídel vyrábí zpravidla jako nedělený. U velkých čerpadel se z montážních důvodů vyrábí dělený. Jednotlivé části hřídele jsou pak navzájem spojeny závitovými spojkami. Závitů jsou před korozí chráněny zinkovými kroužky. U hřídelů velkých průměrů se používají spojky zděřové. Přenos krouticího momentu z hřídele na oběžná kola je zajištěn pomocí per. Oběžná kola jsou za účelem vyrovnání axiální síly opatřena vyrovnávacími otvory a jejich poloha je na hřídeli vymezena rozpěrnými kroužky.

Hřídel je na sací a výtlačné straně čerpadla zpravidla uložen ve dvou vodících kluzných ložiscích. Ložiska jsou nalisována do sacího a výtlačného tělesa. Jejich mazání je zajištěno čerpanou kapalinou. Výstelka ložiska je v případě čerpání čisté vody z ložiskového kovu, při čerpání znečištěné vody z ložiskové gumy. Místo kluzného ložiska na výtlačné straně lze použít valivé jednořadé nechlazené kuličkové ložisko, v případě jednostupňového čerpadla. V případě vícestupňového čerpadla dvouřadé kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem.

Těsnění hřídele je realizováno pomocí měkkého provazcového těsnění. Ucpávkový prostor se nachází ve výtlačné odbočce. Proti nadměrnému opotřebení je hřídel v místě ucpávky chráněn ochrannými pouzdry.

U velkých strojů je váha a axiální síla čerpadla zachytávána v závěsném ložiskovém vrchu. Ten je uložen v ocelovém rámu, který je zabetonován do podlahy strojovny. V ložiskovém vrchu se nachází axiální kuželíkové ložisko, které je mazané olejem. Olej v olejové vaně je možné chladit trubkovým chladičem. Jako chladicí médium slouží voda. Spojení čerpadla s hnacím strojem je realizováno pomocí jednosměrné nebo obousměrné pružné spojky.

Vertikální článková čerpadla se vyrábějí v provedení do mokré i suché jímky. Používají se jak pro čerpání čisté pitné vody, tak pro čerpání vody užitkové. Dosahují průtoků 80 – 13 000 l/min a dopravních výšek 25 m – 210 m [7]. Představitelem konstrukce malého vertikálního čerpadla je čerpadlo Sigma CVXV.



Obrázek 5-2 Čerpadlo Sigma CVXV [11]

### 5.3 Vertikální čerpadlo s axiálním rozvaděčem

V kapitole 5.3 byly použity zdroje [7, 9, 13].

Vertikální čerpadla s axiálním rozvaděčem (viz obrázek 5-3) patří mezi nejvýkonnější čerpadla, co se dopravovaného množství vody týče ( $Q = 100 - 2000 \text{ l/s}$ ). Jsou však jen pro malé a střední výšky od 5 do 40 m. Čerpadla se konstruují do mokré jímky, potom je hydraulická část ukončena sacím nástavcem, nebo do suché jímky, potom je hydraulická část spojena se sacím kolenem.

Hlavním pracovním prvkem čerpadla je oběžné kolo a to buď radiální, diagonální, nebo axiální. Sací těleso je realizováno pomocí sacího nástavce. V případě umístění čerpadla do suché jímky pak sacím víkem. Za sacím nástavcem (víkem) následuje axiální lopatkový rozvaděč, který přivádí vodu na oběžné kolo. Oběžné kolo je na hřídeli upevněno letmo pomocí pojistné hřídelové matice. Krouticí moment je z hřídele na oběžné kolo přenášen perem. Hřídel je uložen v kluzných vodících radiálních ložiscích, která jsou nalisována do ložiskových těles. Jedno z těles se nachází v sacím tělese, další pak ve stoupacím potrubí mezi přírubovými spoji trubek. Výstelka ložisek je z ložiskového kovu nebo se používají ložiska celo-bronzová, popřípadě gumová při čerpání znečištěné vody. V hydraulické části jsou ložiska nejčastěji mazána čerpanou kapalinou. Proti vniknutí nečistot jsou radiální vodící ložiska chráněna gufery.

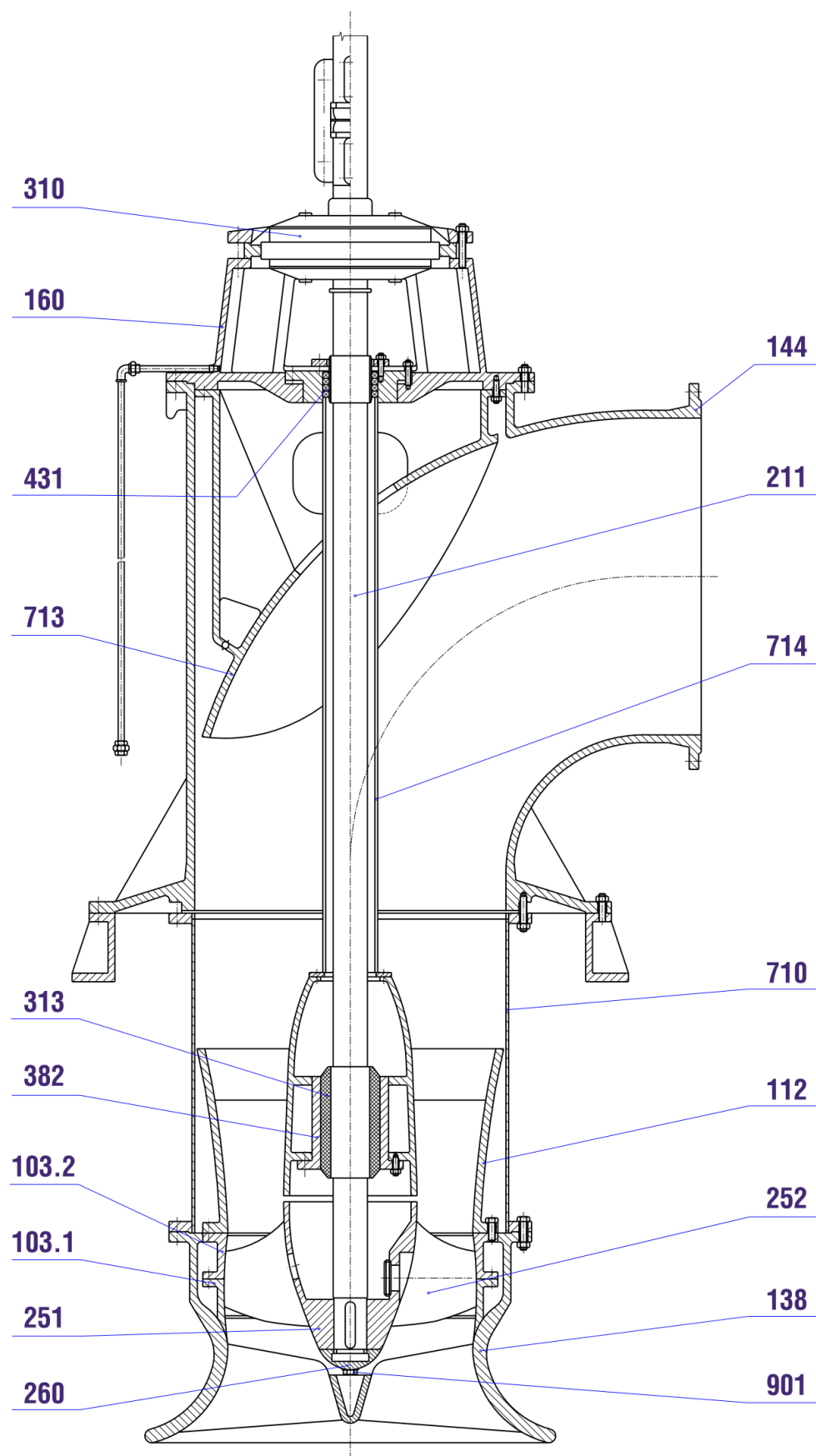
Axiální hydraulickou sílu a váhu rotoru zachycuje axiální ložisko závěsu. Při velkých výkonech čerpadla ( $P > 100 \text{ kW}$ ) je váha rotoru zachycována axiálním ložiskem elektromotoru anebo ložiskem převodovky. Váha statoru je přenášena prostřednictvím stoupací potrubí až na závěsný vrh. Odbočné koleno je uloženo na tělese mezistropu. Menší čerpadla (do průměru potrubí 600 mm) jsou usazována bez těsnícího mezistropu.

Těsnění hřídele je realizováno pomocí provazcového těsnění. Ucpávka je zahlcována čistou vodou. Vodící radiální ložiska, která se nachází v suché části nad odbočným kolenem, jsou mazána olejem. Olejovou vanu je možné chladit trubkovým chladičem.

Hřídel je kvůli své délce a jednoduší montáži rozdělen do několika částí, které jsou navzájem spojeny zděřovými nebo miskovými spojkami. V místě ložisek a ucpávky je hřídel chráněn ochrannými pouzdry proti nadměrnému opotřebení.

Elektromotor je přímo uchycený na zabetonovaný rám v podlaze strojovny. Spojení motoru s čerpadlem musí být realizováno pevnou spojkou, která přenese axiální sílu. V dnešní době se vyrábí v podstatě dvě základní konstrukce čerpadla. První konstrukce je „pevné“ provedení, kde je třeba pro demontáž čerpadla uvolnit celé čerpadlo včetně statoru. U druhé konstrukce je možné vyjmout rotor bez demontáže ukotvené statorové části.

Tato čerpadla se používají pro čerpání dešťové, říční nebo průsakové vody. Svoje využití najdou ve velkých čerpacích stanicích u závlahových, odvodňovacích, zavodňovacích kanalizačních soustav jakož i v průmyslových vodárenských zařízeních. Příkladem vertikálního čerpadla s axiálním rozvaděčem může být výrobek firmy Sigma AQTV, AQSV.



Obrázek 5-3 Čerpadlo Sigma AQT V [13]

## 5.4 Vertikální čerpadlo s axiálním rozvaděčem a natáčecími lopatkami

Vertikální čerpadla s axiálním rozvaděčem a natáčecími lopatkami se používají pro malé dopravní výšky 4-10 m a velká přepravovaná množství. Jejich výhoda spočívá v možnosti za chodu natáčet lopatky oběžného kola a tím dosahovat optimální účinnosti. Používají se především, tam kde dochází ke značnému kolísání hladin a to jak v sací, tak ve výtlačné nádrži [7, 9, 13].

Konstrukcí se tyto čerpadla příliš neliší od vertikální axiálních čerpadel. Jediný rozdíl je v zařazení mechanismu, který otáčí lopatky oběžného kola. Vlastní mechanismus je umístěn v náboji oběžného kola a skládá se z objímky, čepu, táhel a přestavovací růžice [7, 9, 13].

Ovládání lopatek oběžného kola je prováděno ze strojovny a to buď prostřednictvím servomotoru, nebo manuálně pomocí pákového mechanismu. Servomotor (pákový mechanismus) otáčí regulační tyčí, která prochází dutým hřídelem až k přestavovací růžici, která je umístěna v náboji oběžného kola. Konstrukce ovládacího mechanismu se mohou značně lišit. Většinou jsou však značně složité a tím také méně používané [7, 9, 13].

Tato čerpadla se používají pro čerpání dešťové, říční nebo průsakové vody. Svoje využití najdou ve velkých čerpacích stanicích u závlahových, odvodňovacích, zavodňovacích kanalizačních soustav jakož i v průmyslových vodárenských zařízeních. Příkladem vertikálního čerpadla s axiálním rozvaděčem a natáčecími lopatkami je výrobek firmy Sigma AQC [13].

## 5.5 Vertikální čerpadla do vrtů

Požadavky na vertikální čerpadla do vrtů vychází z charakteristik vrtů. Musí mít především malý průměr a hmotnost. Musí být schopna vytlačit vodu standardně z hloubek o kolo 100 m, a proto jsou jejich konstrukce vícestupňové. Dopravované množství vody se u čerpadel této konstrukce pohybuje od 700 – 4500 l/min. Dopravní výška až 300 m. Malého průměru čerpadla se dosahuje použitím uzavřených diagonálních oběžných kol článkového uspořádání. Počet článků se pohybuje od 5 do 15 článků v závislosti na dopravované výšce [7, 14, 16].

### 5.5.1 Čerpadla s hřídelovým vedením

Vlastní čerpadlo, tvořené sacím košem rotorem s radiálními popřípadě diagonálními oběžnými koly je zavěšeno na výtlačném potrubí (viz obrázek 5-4). Oběžná kola bývají odlehčena za účelem vyrovnání axiální síly. Hřídel se vyrábí dělený. Jednotlivé části jsou spojeny závitovými spojkami. Hřídel je veden v kluzných ložiscích, která jsou mazána čerpanou kapalinou. Ložiska jsou umístěna ve výtlačném potrubí přibližně o rozteči 3,3 m. Výstelka ložisek je z ložiskového kovu nebo z ložiskové gumy v případě čerpání znečištěné vody. V suché části je hřídel veden ve valivých ložiscích, která jsou mazána tukem. Motor čerpadla je umístěn na povrchu vrtu na podlaze strojovny. Pod motorem se nachází odbočné koleno výtlačné části potrubí. Konstrukce článků a jejich vzájemné napojení je shodné s vertikálním článkovým čerpadlem (viz kapitola 5.2). Vyjma posledního stupně, za kterým se nachází rozváděcí kolo, které převádí kapalinu z radiálního (diagonálního) směru do axiálního. Konstrukce výtlačného potrubí, hřídele, hřídelových ucpávek a uložení kluzných ložisek v potrubí, umístění motoru je shodné s vertikálním čerpadlem s axiálním rozvaděčem (viz kapitola 5.3) [7, 17, 18].

Nevýhoda tohoto řešení je, že hloubce vrtu musí odpovídat délka hřídele. Tedy výška čerpadel je v takovýchto případech i 100 m. Tento fakt způsobuje komplikace s dynamikou rotoru a negativně ovlivňuje životnost čerpadla. Spolehlivost stroje je závislá na životnosti kluzných

ložisek a čistotě čerpané kapaliny. Použití tohoto čerpadla u hlubokých vrtů, u kterých není možné zaručit jeho přímý tvar, je takřka nemožné. Toto konstrukční řešení se v dnešní době příliš nepoužívá, protože se u ponorných čerpadel dosáhlo bezpečného chodu motoru pod vodou [18].

### 5.5.2 Ponorná čerpadla

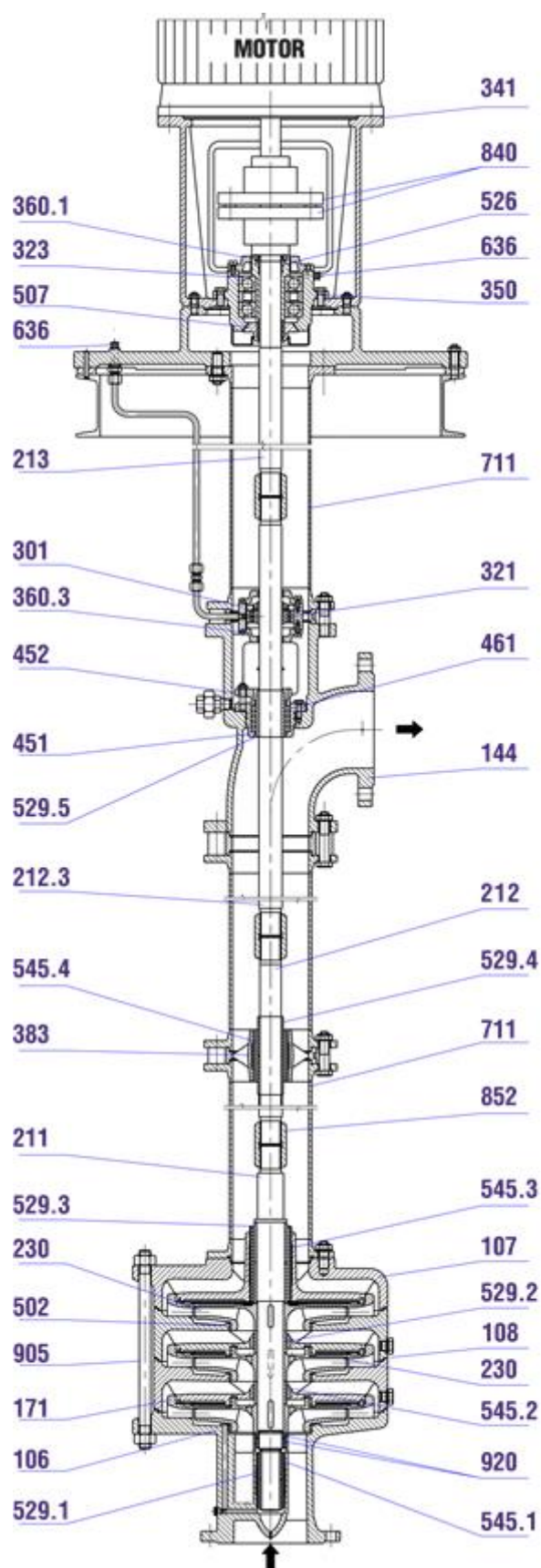
Konstrukce ponorných čerpadel je shodná s vertikálním článkovým čerpadlem (viz kapitola 5.2). Liší se pouze umístěním motoru, který je zavěšen pod čerpadlem (viz obrázek 5-5). Speciální konstrukce motoru umožňuje jeho dlouhodobý provoz pod vodou. Nad motorem se nachází vstup kapaliny do čerpadla. Následují jednotlivé články čerpadla. Poslední článek je zakončen rozváděcím kolem, které odvádí kapalinu axiálně z čerpadla [14, 18].

Výhoda ponorných čerpadel spočívá v tom, že nepotřebují tak dlouhý hřídel a stator. Z toho vyplývají nižší výrobní náklady. Díky krátkému hřídeli odpadá problém s jeho uložením a dynamikou stroje. Nevýhoda ponorných čerpadel je, že jejich životnost závisí na životnosti ucpávek. Někteří výrobci udávají u čerpadel do vrtů použití pouze do čisté vody, popřípadě udávají poměr hmotnosti písku ku objemu vody, kdy je zaručen bezproblémový chod čerpadla a ucpávek. Například výrobce Grundfos u čerpadel řady SQE udává poměr  $50 \text{ g} / \text{m}^3$ , což při hustotě písku  $1500 \text{ kg/m}^3$  odpovídá 33,33 ml písku na  $1 \text{ m}^3$  vody. Sigma u čerpadel CVXU udává tentýž poměr co Grundfos, s dodatkem že velikost zrn nečistot by neměla přesáhnout 0,2 mm a pH vody by mělo být mezi 6-8,5. Výrobce Stairs Pumps u výrobku SP 4'' udává to samé co Grundfos bez bližších specifikací. Z uvedených dat vyplývá, že čerpadla jsou poměrně náchylná na písek a tvrdost vody, což ne vždy je možné takovéto podmínky zaručit i u vrtů pro pitnou vodu. U ponorných čerpadel je možné použít výtlačné potrubí, jak z pevného materiálu (ocel, litina), tak z flexibilního (guma, plast) [7, 14, 15, 16].

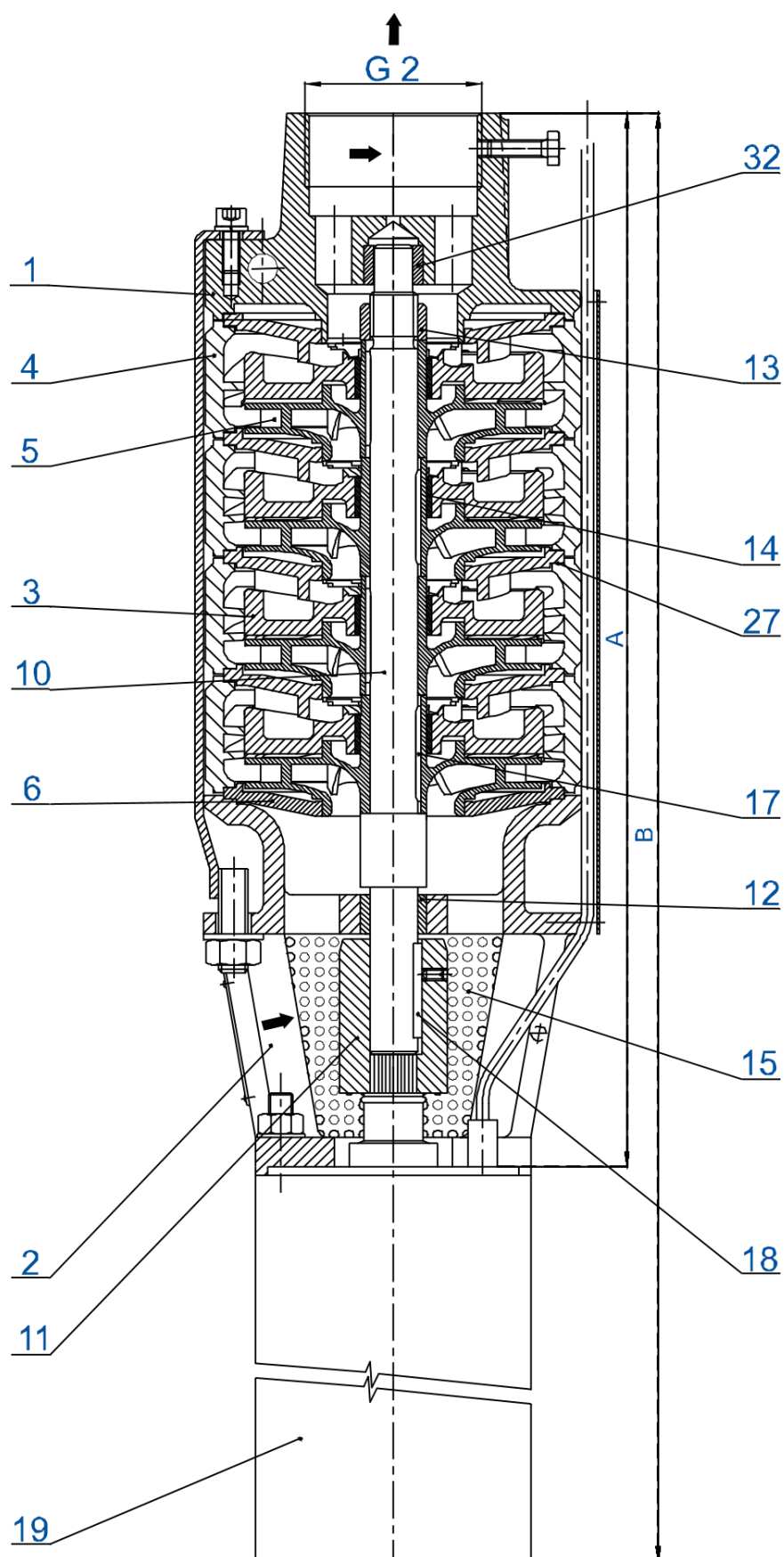
Motory používané pro ponorná čerpadla do vrtů jsou nejčastěji asynchronní motory a asynchronní motory s frekvenčním měničem. Měnič bývá umístěn přímo v čerpadle a používá se k řízení otáček a tím i průtoku motoru. Slouží také k regulaci tlaku v potrubí, je-li čerpadlo napojeno přímo do rozvodů vody, například pro zavlažování zahrady. Čerpadlo je potom řízeno řídicí jednotkou. Výhoda těchto čerpadel je v „měkkém“ startu. Nevytváří velký tlakový náraz na potrubí, tak jako čerpadla s asynchronním motorem, a může se použít menší tlaková nádoba na vyrovnání tlaků. Motory se vyrábí jednofázové a třífázové. Jedinou nevýhodou čerpadel s motory s frekvenčním měničem je cena, která se pohybuje cca na dvojnásobku ceny čerpadla s asynchronním motorem. Čerpadla lze koupit i bez motoru a vybrat motor dle potřebných specifikací [14, 15, 16].

Příkladem vertikálního čerpadla do vrtů je výrobek firmy Sigma CVXU (viz obrázek 5-5).





Obrázek 5-4 Čerpadlo Sigma CVEV [17]



Obrázek 5-5 Čerpadlo Sigma CVXU [14]

## 6 Čerpadla jiných principů používaných do vrtů

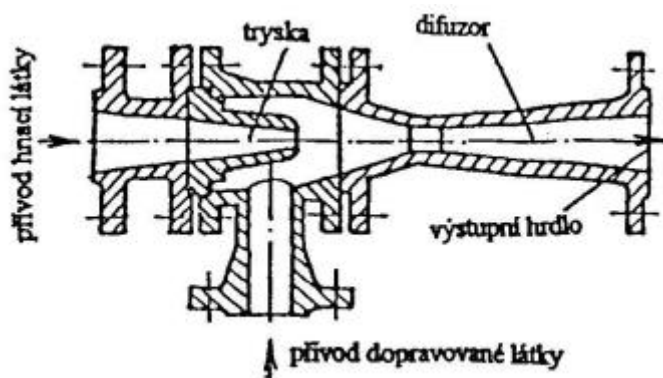
### 6.1 Mamutové čerpadlo

Mamutové čerpadlo (v literatuře též označováno mamutkové viz obrázek 6-2) pracuje na principu rozdílné hustoty směsi, která je tvořena čerpanou kapalinou a vzduchem, a kapalinou samotnou. Čerpadlo je ponořeno do hloubky, která by měla být asi  $1/3$  až  $1/2$  geodetické výšky<sup>4)</sup>. Do prostoru směšovací komory, která se nachází na vtoku do čerpadla, je přiváděn vzduch. Vzniklá směs postupuje vlivem rozdílné hustoty potrubím vzhůru. Hlavní výhodou čerpadla je, že neobsahuje žádné pohybující se části, takže čerpadlo je spolehlivé a nevadí mu případné hrubé nečistoty. Čerpadla se používají v čistírnách odpadních vod, v prostorách náchylných na výbuch a pro čerpání kapalin z hlubokých vrtů. Nevýhodou čerpadla je malá účinnost 25 až 40 % [9, 19, 20].

### 6.2 Vodní ejektory

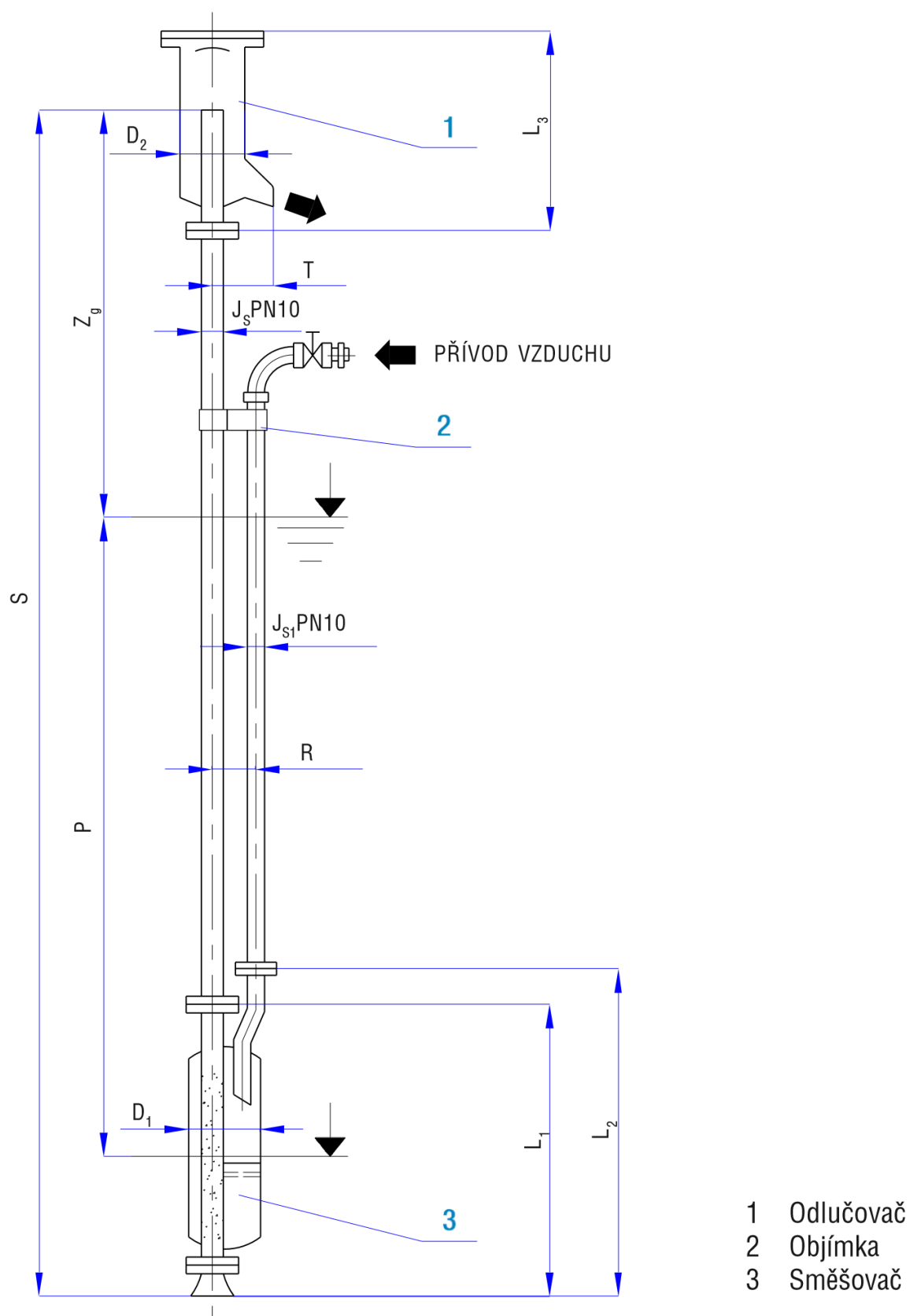
Vodní ejektory (viz obrázek 6-1) využívají principu Venturiho trubice. Pracovní kapalina prochází tryskou. V místě zúžení proudu dochází k přisávání čerpané kapaliny, která se ve směšovací komoře míjí s pracovní. Proud kapaliny přechází do difuzoru, kde se přemění část kinetické energie na tlakovou a kapalina stoupá výtlačným potrubím. Pracovní látkou nemusí být vždy kapalina, používá se i plyn [9, 21].

Samotný ejektor bývá umístěn v sacím koši čerpadla. Jako zdroj energie pro pracovní kapalinu se používá odstředivé čerpadlo, které je umístěno na povrchu. Výhodou ejektoru je malý zástavbový prostor, nevadí mu přisátí vzduchu, a některé konstrukce mohou běžet i naprázdno. Nevýhodou je malá účinnost asi 15 až 20 %, a potřeba odstředivého čerpadla na pohon pracovní kapaliny. Ejektory se využívají v zemědělských provozech, ve stavebnictví a taktéž k čerpání prosáklé vody z prostoru turbín a čerpání vody z hlubokých studní. Své uplatnění naleznou ve výzbroji hasičů [9, 21].



Obrázek 6-1 Ejektor [21]

<sup>4)</sup> Geodetická výška = rozdíl nadmořských výšek provozních hladin [9].



Obrázek 6-2 Mamutové čerpadlo od firmy Sigma [19]

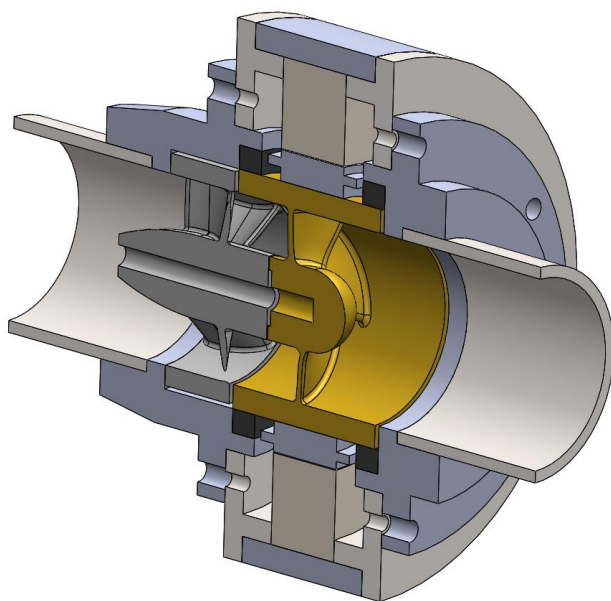
## 7 Konstrukce hybridního čerpacího systému

V dnešní době se pro čerpání kapalin z vrtů nejčastěji používá vícestupňových odstředivých čerpadel s diagonálními oběžnými koly. Mezi jejich nevýhody patří velká hmotnost, délka a určitá ztráta účinnosti, která je způsobena vícestupňovým uspořádáním a použitím malých průměrů oběžných kol. Další možností jak čerpat kapalinu z vrtů je použití mamutových nebo ejektorových čerpadel. Tyto čerpadla se hodí do určitých provozů pro své specifické vlastnosti například do provozů s nebezpečím výbuchu. Mezi jejich hlavní nevýhody patří nízká účinnost [18, 20, 21].

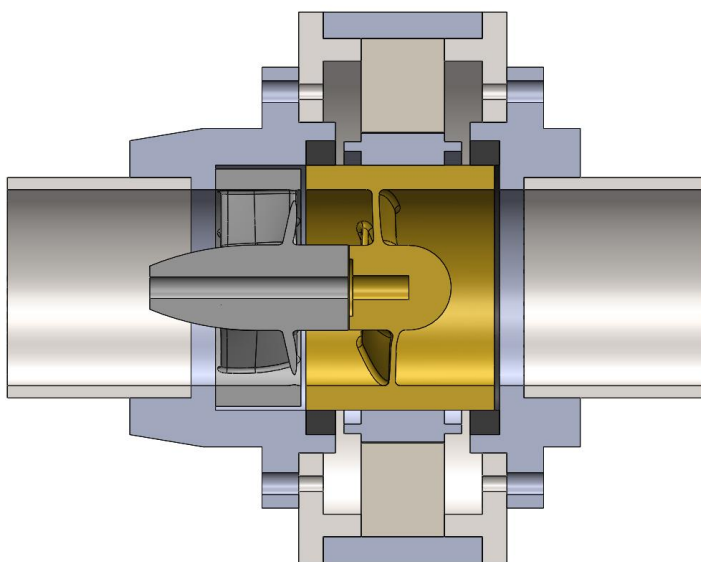
Nová koncepce hybridního čerpacího systému spočívá v sériovém řazení segmentů, skládajících se z čerpadlové části (viz obrázek 7-1, 7-2) a navazujícího výtlačného potrubí tak, aby bylo dosaženo potřebné výtlačné výšky. V čerpadle je použito axiální oběžné kolo speciální konstrukce. Ta je specifická umístěním kroužku prstencového motoru na konce lopatek oběžného kola. Rotor čerpadla tvoří hřídel s oběžným kolem. Hřídel je uložen v kuličkových radiálních ložiscích, která se nachází v ložiskovém kroužku. Ložiska jsou utěsněna gufery. Ložiskový kroužek plní zároveň funkci rozváděcích lopatek, které přivádí kapalinu na oběžné kolo. Spojení ložiskového kroužku s potrubím je realizováno nalisováním nebo pomocí svarů. Stator motoru tvoří potrubí, do kterého je uloženo statorové vinutí elektromotoru. Otáčky a tím i průtok čerpadla se řídí frekvenčním měničem [18].

Výhoda tohoto konstrukčního řešení spočívá v tom, že některé problematické prvky, které trápí konvenční čerpadla, se zde vůbec nevyskytují, například problematika utěsnění elektromotoru v případě ponorného čerpadla. Jednoznačnou výhodou je hmotnost čerpadla, která je nižší díky použití axiálního oběžného kola, které na rozdíl od diagonálních nebo radiálních oběžných kol negeneruje vysoký tlak do stěn potrubí, a tak je možné použít potrubí o menší tloušťce stěny. Axiální oběžné kolo je také méně náchylné na případné malé nečistoty, které jím projdou. Díky speciální konstrukci elektromotoru není potřeba motor čerpadla chránit proti účinkům čerpané kapaliny. Čerpadlo je možné umístit i do pružného potrubí, takže se dá použít i v těžko přístupných místech – křivých vrtech. Nabízí se zde možnost využít čerpadlo v turbínovém provozu například při funkci vodojemů a vyprazdňování nádrží. Nevýhoda tohoto čerpadla je, že jeden segment čerpadla s potrubím je přibližně pro výtlačnou výšku 6 m. Pro větší výšky bude třeba zařadit více segmentů do série. Aby v případě poruchy jedné čerpadlové části nedošlo k odstavení celého čerpacího systému, jsou čerpadla řazena do série o rozteči tří metrů. Tím bude narůstat cena čerpadla lineárně v závislosti na dopravované výšce [18].

Použití čerpadla bude pravděpodobně pro speciální aplikace, kde konvenční čerpadla nebudou postačovat. Jako vhodné se jeví použití tohoto čerpadla pro hasičské jednotky, kde by mohla sloužit při živelných katastrofách k odčerpávání vody v zaplavených oblastech. Zde by se uplatnily přednosti tohoto čerpadla, které jsou: velké průtočné množství vody, odolnost vůči znečištěné vodě, a nevadila by malá výtlačná výška jednoho segmentu čerpadla. Využití tohoto čerpadla do vrtů se jeví jako možné, ale muselo by jít o vrty malých hloubek popřípadě o vrty, kde by bylo potřeba dopravovat velké množství vody v krátkém čase. Rozhodující vliv na schopnost čerpadla obstát před sériově vyráběnými stroji bude mít cena jednoho segmentu a účinnost čerpadla, která by měla být vyšší než u čerpadel dosud používaných. Účinnost vícestupňových odstředivých čerpadel do vrtů se pohybuje mezi 40-70 % [16].



**Obrázek 7-1 Řez axiálním čerpadlem hybridního čerpacího systému**



**Obrázek 7-2 Řez axiálním čerpadlem hybridního čerpacího systému**

## 8 Závěr

Na trhu se vyskytuje poměrně rozsáhlé množství hydrodynamických čerpadel do vrtů. Dnes se již převážně používají čerpadla ponorná, která nahradila zastaralou konstrukci vertikálního čerpadla s hřídelovým vedením. Výhody ponorných čerpadel oproti čerpadlům s hřídelovým vedením jsou: menší zástavbový prostor, menší počet ložisek a v tomto ohledu větší spolehlivost a méně komplikovaná dynamika stroje, snadná montáž, nepotřebují výtlačné potrubí z kovového materiálu. Nevýhody, které přetrvávají u obou konstrukčních řešení, jsou: v důsledku použití radiálních popřípadě diagonálních oběžných kol vzniká za čerpadlem veliký tlak do stěn potrubí, a proto musí mít potrubí patřičnou tloušťku stěny, čímž se dosahuje velké hmotnosti čerpacího systému, délka čerpadel a jejich malá účinnost, která se pohybuje mezi 40% – 70%. Tyto nedostatky by měla odstranit nová koncepce hybridního čerpacího systému, a to díky použití axiálního oběžného kola.

Hybridní čerpací systém předčí předešlé konstrukce svoji univerzálností. Nemusí být použit jen jako čerpadlo do vrtů, ale díky velkému průtočnému množství kapaliny nalezne svoje uplatnění tam, kde bude potřeba přemístit velké objemy. Například: vyprazdňování nádrží, odčerpávání vody při živelných katastrofách.

Z technologického hlediska je možné použít hybridní čerpací systém pro čerpání pitné vody z extrémních hloubek (více jak 300 m), protože výtlačná výška čerpadla je prakticky neomezená. Nicméně z geologického hlediska začínají být tyto hloubky dosti problémové. Je to dáno tím, že v tvrdých horninách se pukliny směrem do větších hloubek díky vysokému litosférickému tlaku uzavírají, a tak vydatnosti vrtu jsou velmi malé nebo žádné. Největší oběh podzemní vody probíhá v prvních 100 m rozpukaných skalních hornin. V měkkých sedimentárních horninách (písky, jíly) se voda dostává hlouběji pod povrch, avšak díky pomalému oběhu vody a dlouhé době zdržení se obohacuje minerály, až je často slaná [22].

Z ekonomického hlediska se v našem zeměpisném pásmu zatím nevyplatí hluboké vrty na pitnou vodu dělat, protože jsou velice nákladné. Použití tohoto čerpadla v zemích třetího světa pro dopravu pitné vody z extrémních hloubek shledávám jako nereálné z důvodu ne zcela jednoduché konstrukce, pravděpodobné složité dostupnosti náhradních dílů a absenci odborného servisu. Zde se vyplatí použít čerpadla značek, které mají místní zastoupení, a v případě poruchy je jednodušší dostupnost náhradních dílů, popřípadě nového čerpadla.

Hybridní čerpací systém však nemusí pracovat jen s vodou. Mohl by sloužit i k dopravě ropy popřípadě jiných kapalin. Zajímavá je myšlenka využít hybridní čerpací systém v turbínovém chodu, například při funkci vodojemů a vyprazdňování nádrží. Vše však bude záležet na tom, jak vysoké budou výrobní náklady jednoho segmentu hybridního čerpacího systému.

## 9 Seznam použitých zdrojů

- [1] *Pumps and systems* [online]. Birmingham [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: <http://www.pumpsandsystems.com/topics/pumps/pumps/history-pumps-through-years>
- [2] *Nice mech* [online]. 2015 [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: <http://nicemech.com/>
- [3] *Duke university* [online]. 2006 [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://www.phy.duke.edu/~dtl/89S/restrict/followups/class08/class08.html>
- [4] *Grundfos* [online]. Cairo [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: [http://net.grundfos.com/doc/webnet/water\\_school/pumps\\_history\\_now.html](http://net.grundfos.com/doc/webnet/water_school/pumps_history_now.html)
- [5] *Abeceda malých vodních pohonů* [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/jineturbiny/archimedes.htm>
- [6] ČSN 11 0000 *Rozdělení a terminologie čerpadel*. Praha: Český normalizační institut 1994, 1994.
- [7] STRÝČEK, O. a M. GANČO. *Čerpadla*. Bratislava: Edičné stredisko SVŠT v Bratislave, 1968.
- [8] BLÁHA, Jaroslav a Karel BRADA. *Čerpadla*. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze Vydavatelství ČVUT, 1972.
- [9] NECHLEBA, Miroslav a Josef HUŠEK. *Hydraulické stroje*. 1. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966.
- [10] Vertikální odstředivá spirální čerpadla HVBW. *Kres spol s.r.o.* [online]. [cit. 2016-04-23]. Dostupné z: [ftp://www.kres.cz/katalogy\\_kres/KATALOG\\_Cerpadla/SIGMA/HVBWP.PDF](ftp://www.kres.cz/katalogy_kres/KATALOG_Cerpadla/SIGMA/HVBWP.PDF)
- [11] 40 - CVXV. *SIGMA PUMPY HRANICE, s.r.o.* [online]. [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: [http://www.sigmapumpy.com/downloadFile.php?file=public/upload/prospectus/cz/prospekt\\_40CVXV\\_CZ.PDF](http://www.sigmapumpy.com/downloadFile.php?file=public/upload/prospectus/cz/prospekt_40CVXV_CZ.PDF)
- [12] 32 - CVXV. *SIGMA PUMPY HRANICE, s.r.o.* [online]. [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: [http://www.sigmapumpy.com/downloadFile.php?file=public/upload/prospectus/cz/prospekt\\_32CVXV\\_CZ.PDF](http://www.sigmapumpy.com/downloadFile.php?file=public/upload/prospectus/cz/prospekt_32CVXV_CZ.PDF)
- [13] Vertikální vrtulová čerpadla AQTV, AQSV, AQCVP. *Kres spol s.r.o.* [online]. [cit. 2016-04-23]. Dostupné z: [ftp://www.kres.cz/katalogy\\_kres/KATALOG\\_Cerpadla/SIGMA/AQCVP.PDF](ftp://www.kres.cz/katalogy_kres/KATALOG_Cerpadla/SIGMA/AQCVP.PDF)
- [14] 32 - CVXU. *SIGMA PUMPY HRANICE, s.r.o.* [online]. [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: [http://www.sigmapumpy.com/downloadFile.php?file=public/upload/prospectus/cz/prospekt\\_32CVXU\\_CZ.pdf](http://www.sigmapumpy.com/downloadFile.php?file=public/upload/prospectus/cz/prospekt_32CVXU_CZ.pdf)
- [15] Technický katalog Grundfos SQ, SQ-N, SQE, SQE-N. *GRUNDFOS* [online]. [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://net.grundfos.com/App/ccmsservices/public/literature/filedata/Grundfosliterature-3978912.pdf>



- [16] Řada nerezových ponorných čerpadel SP 4''. *STAIRS PUMPS* [online]. [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: [http://www.stairspumps.cz/?download=/download/stairs\\_4palce.pdf](http://www.stairspumps.cz/?download=/download/stairs_4palce.pdf)
- [17] Vertikální odstředivá vodárenská čerpadla CVEV. Kres spol s.r.o. [online]. [cit. 2016-04-23]. Dostupné z: [ftp://www.kres.cz/katalogy\\_kres/KATALOG\\_Cerpadla/SIGMA/CVEVP.PDF](ftp://www.kres.cz/katalogy_kres/KATALOG_Cerpadla/SIGMA/CVEVP.PDF)
- [18] Hybridní čerpací systém.
- [19] Mamutka. *Kres spol s.r.o.* [online]. [cit. 2016-04-23]. Dostupné z: [ftp://kres.cz/katalogy\\_kres/KATALOG\\_Cerpadla/SIGMA/MAMUTP.PDF](ftp://kres.cz/katalogy_kres/KATALOG_Cerpadla/SIGMA/MAMUTP.PDF)
- [20] Principy průmyslových čerpadel – 10.díl - mamutková čerpadla. *Automatizace.hw.cz* [online]. [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/principy-prumyslovych-cerpadel-10dil-mamutkova-cerpadla>
- [21] Principy průmyslových čerpadel – 9.díl - proudová čerpadla. *Automatizace.hw.cz* [online]. [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/principy-prumyslovych-cerpadel-9dil-proudova-cerpadla>
- [22] Emailová korespondence s Mgr. Antonínem Kopřivou.

## 10 Seznam použitých symbolů a zkratek

Značka	Název	Jednotka
Eu	Eulerovo číslo	-
Fr	Froudeho číslo	-
g	Tíhové zrychlení	$\text{m/s}^2$
$n_b$	Měrné otáčky	-
$n_q$	Měrné objemové otáčky	-
$n_s$	Měrné výkonové otáčky	-
p	Tlak	Pa
Q	Průtok	$\text{m}^3/\text{s}$
Re	Reynoldsovo číslo	-
S	Průřez	$\text{m}^2$
Sh	Strouhalovo číslo	-
t	Čas	s
u	Unášivá rychlost	$\text{m/s}$
v	Absolutní rychlost	$\text{m/s}$
We	Weberovo číslo	-
Y	Měrná energie	$\text{J/kg}$
Z	Výška	m
z	Charakteristický rozměr	m
$\nu$	Kinematická viskozita	$\text{m}^2/\text{s}$
$\rho$	Hustota	$\text{kg/m}^3$
$\sigma$	Povrchové napětí	Pa